



普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

# 地下工程施工技术

主编 袁文华  
主审 李术才



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

# 地下工程施工技术

主 编 袁文华  
副主编 孙玉永 王贵虎 轩俊杰  
主 审 李术才



TU94 / 26



WUHAN UNIVERSITY PRESS  
武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

地下工程施工技术/袁文华主编. —武汉:武汉大学出版社,2014.8  
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材  
ISBN 978-7-307-13853-7

I. 地… II. 袁… III. 城市建设—地下工程—工程施工—高等学校—教材 IV. TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 168063 号

责任编辑:邓 瑶      责任校对:方竞男      装帧设计:吴 极

---

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: whu\_publish@163.com 网址: www.stmpress.cn)

印刷:武钢实业印刷总厂

开本:850×1168 1/16      印张:20.5      字数:564 千字

版次:2014年8月第1版      2014年8月第1次印刷

ISBN 978-7-307-13853-7      定价:39.00 元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

# 普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材 编审委员会

(按姓氏笔画排名)

顾问: 干洪 朱大勇 任伟新 张伟林 程桦 颜事龙

主任委员: 丁克伟 高飞 徐颖

副主任委员: 王睿 戈海玉 方达宪 白立华 孙强 杨智良

陆峰 胡晓军 殷和平 黄伟

委员: 马芹永 王长柏 王佐才 韦璐 方诗圣 刘运林

关群 苏少卿 李长花 李栋伟 杨兴荣 杨树萍

肖峻峰 何夕平 何芝仙 沈小璞 张洵 张速

张广锋 陈燕 邵艳 林雨 周安 赵青

荣传新 姚传勤 姚直书 袁文华 钱德玲 倪修全

郭建营 黄云峰 彭曙光 雷庆关

总责任编辑: 曲生伟

秘书长: 蔡巍

# 特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。


本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

## 课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

## 课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录 [www.stmpress.cn](http://www.stmpress.cn) 下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

# 前言

本书为住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会“2013年度高等教育教学改革项目土木工程专业卓越计划专项”立项课题成果之一,同时被评为2013年度省级规划教材。

人们普遍认为,21世纪将是开发地下空间的世纪。随着城市化进程的加快,以及能源、交通、水利水电建设的需要,地下空间的开发与建设已成为当前世界各国改善生态环境、缓解居住和交通拥挤、促进经济可持续发展的主要途径之一。地下工程的领域越来越广,如矿产资源开采,交通隧道、城市地铁,水工隧道与水电地下厂房,地下商业街、仓库、停车场、过街通道,市政隧道、给排水管道,电力、热力、通信管道,输油、输气管道,地下水污水处理系统及人防、国防、军事等,并且数量越来越多、规模越来越大、施工条件越来越复杂,对地下工程施工技术的掌握显得越发重要。

目前,关于地下工程施工技术方面的教材,其行业特征比较明显,针对性较强,无法适应培养多领域、跨行业、不同方向的人才的需要。从高等院校的人才培养来说,也应迅速适应这种变化,培养出能适应不同行业施工需要的人才。事实上,无论哪一领域,就地下工程而言,其基本施工原理和方法都是相通的。因此,编者尽量打破行业界限,淡化行业特征,重点讲述施工技术、施工工艺和施工方法,力求使本书成为一本以施工技术为主导体系的通用性教材。

本书取材面广,内容丰富,力争反映当前地下工程施工技术最新科学技术成果,应用成熟的理论和方法,注重理论与实践的结合,突出实用性,使读者对地下工程施工技术有比较全面的了解。本书不仅适合在矿山、铁路、公路、水利水电、城市地下空间等方向开设地下工程课程的高等学校使用,也可供这些行业的工程技术人员学习、参考。

本书由安徽理工大学袁文华担任主编,铜陵学院孙玉永、安徽理工大学王贵虎、西北民族大学轩俊杰担任副主编。全书共分11章,具体编写分工为:袁文华(前言、第1章、第3章、第8章第1节至第3节);孙玉永(第6章、第7章、第9章、第11章);王贵虎(第2章、第4章、第10章第1节);轩俊杰(第5章、第8章第4节、第10章第2节)。全书由袁文华统稿。山东大学李术才教授担任本书主审。

在本书编写过程中,编者参考了许多书籍及资料,主要参考文献列于章末,书中不再一一注明,特向相关作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不足和疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2014年4月

— 1 —

# 目录

1 绪论 .....	(1)
1.1 地下工程概述 .....	(2)
1.2 地下工程施工技术与新进展 .....	(5)
独立思考 .....	(9)
参考文献 .....	(9)
2 地下工程地质环境与围岩分级 .....	(10)
2.1 地下工程地质环境 .....	(11)
2.2 围岩稳定性的影响因素与围岩分级指标 .....	(20)
2.3 地下工程的围岩分级方法 .....	(27)
知识归纳 .....	(35)
独立思考 .....	(36)
参考文献 .....	(36)
3 水平岩石巷(隧)道钻眼爆破法施工 .....	(37)
3.1 基本开挖方案 .....	(38)
3.2 钻眼爆破作业 .....	(48)
3.3 支护技术 .....	(62)
3.4 岩石装运作业 .....	(86)
知识归纳 .....	(95)
独立思考 .....	(95)
参考文献 .....	(96)
4 立井施工 .....	(97)
4.1 立井及其井筒结构 .....	(98)
4.2 立井施工设施及布置 .....	(99)
4.3 提升与悬吊 .....	(109)
4.4 表土层施工 .....	(113)
4.5 基岩施工 .....	(119)
4.6 施工作业方式与辅助作业 .....	(134)
知识归纳 .....	(138)
独立思考 .....	(138)
参考文献 .....	(138)

<b>5</b>	<b>岩石掘进机施工</b>	(140)
5.1	全断面岩石隧道掘进机	(141)
5.2	悬臂式掘进机	(160)
	知识归纳	(168)
	独立思考	(168)
	参考文献	(168)
<b>6</b>	<b>盾构法施工</b>	(169)
6.1	盾构法简介	(170)
6.2	盾构机的构造与类型	(173)
6.3	盾构法施工	(187)
6.4	隧道衬砌	(198)
	知识归纳	(203)
	独立思考	(204)
	参考文献	(204)
<b>7</b>	<b>顶管法施工</b>	(205)
7.1	顶管法施工概述	(206)
7.2	顶管法施工技术	(212)
7.3	顶管工程设计计算	(221)
	知识归纳	(223)
	独立思考	(223)
	参考文献	(223)
<b>8</b>	<b>沉管法施工</b>	(224)
8.1	概述	(225)
8.2	临时干坞和管段制作	(228)
8.3	沉管隧道施工作业	(233)
8.4	基础处理及回填	(242)
	知识归纳	(246)
	独立思考	(246)
	参考文献	(246)
<b>9</b>	<b>基坑工程施工</b>	(247)
9.1	基坑围护结构	(248)
9.2	基坑降水	(259)
9.3	基坑开挖	(267)
	知识归纳	(270)
	独立思考	(271)
	参考文献	(271)



---

<b>10 地下工程辅助工法</b> .....	(272)
10.1 冻结法施工.....	(273)
10.2 注浆法施工.....	(285)
知识归纳.....	(299)
独立思考.....	(299)
参考文献.....	(300)
<b>11 地下工程施工组织设计与施工监测</b> .....	(301)
11.1 施工组织设计.....	(302)
11.2 施工进度计划.....	(305)
11.3 施工监测.....	(310)
知识归纳.....	(316)
独立思考.....	(316)
参考文献.....	(317)

# 绪 论

## 课前导读

---

### ▽ 内容提要

本章主要内容包括地下工程的概念、分类和地下工程施工技术与新进展。本章教学重难点为地下工程的基本概念和地下工程施工技术。

### ▽ 能力要求

通过本章的学习，学生应掌握地下工程的概念和分类，了解地下工程施工技术与新进展。

## 1.1 地下工程概述

### 1.1.1 地下工程的概念

地球表面以下是一层很厚的岩石圈,岩层表面风化为土壤,形成不同厚度的土层,覆盖着大部分陆地。岩层和土层在自然状态下都是实体,在外部作用条件下才能形成空间。

地下空间(underground space)是在岩层或土层中天然形成或经人工开发形成的空间。天然形成的地下空间,如在石灰岩体中由于水的冲蚀作用而形成的空间,称为天然溶洞。人工地下空间包括使用各种技术挖掘出来的空间和矿藏开采后废弃的矿坑。

地下建筑(underground buildings)是指建造在地层中的各种建筑物和构筑物。地面建筑的地下室部分,也是地下建筑。小部分露出地面,大部分处于地层中的建筑物、构筑物称为半地下建筑。

地下工程(underground engineering)是指修建在地面以下岩层或土层中的各种工程空间与设施,是地层中所建工程的总称,通常包括矿山井巷工程、城市地铁隧道工程、水工隧洞工程、交通山岭隧道工程、水电地下硐室工程、地下空间工程、军事国防工程、建筑基坑工程等。

地下工程是涵盖了规划、勘测、设计、施工、管理和维修等的一项综合性应用科学技术,是土木工程的一个分支,涉及工程测量、岩土力学、工程力学、工程设计、建筑材料、建筑结构、建筑设备、工程机械、技术经济及管理科学等学科知识,也需计算机应用及工程测试方面的技术知识。

### 1.1.2 地下工程的分类

地下工程涉及国民经济的各个领域,其规模、作用、地质条件各不相同。根据其用途、地质条件、埋藏深度、空间形态等,主要有以下几种分类方式。

#### 1.1.2.1 根据用途分类

地下工程按用途可分为公路和铁路隧道、城市地铁、水底隧道,冶金、煤炭、采矿用地下巷道,水工隧道与水电地下厂房,地下商业街、仓库、停车场、过街通道,市政隧道、给排水管道,电力、通信、热力管道,输油、输气管道,地下水污水处理系统,人防、国防、军事、核废料专用工程,以及各种地下空间开发的基础设施工程等。

#### 1.1.2.2 根据地质条件分类

地下工程按其所处的地质条件分为岩石地下工程和土层地下工程。

岩石地下工程包括在岩体中建造的各种隧道和硐室、采掘矿产资源施工的井巷工程等。

土层地下工程包括采用明挖法施工的基坑工程、浅埋通道和地下室,采用盾构法施工的地铁隧道,采用暗挖法施工的深埋地下通道和硐室,采用顶管法施工的市政管道等。土层地下工程按建造方式分为单建式和附建式两类。单建式地下工程是指地下工程独立建在土中,在地面以上没有其他建筑物;附建式地下工程是指各类建筑的地下室部分。

#### 1.1.2.3 根据空间形态分类

地下工程按空间形态可分为洞道式和厅房式两种。洞道式是指径向尺寸相对其长度较小的地下工程,隧道是其最常见的形式;厅房式又称硐室,是长度相对较短,径向尺寸相对较大的地下工

程。两者在开挖方式上有一定的区别,在支护结构上有不同的要求。对于洞道式地下工程,不同的行业领域其称谓不同。公路及铁路中称为隧道,矿山中称为巷道,市政工程中称为通道或地道,水利水电部门称为隧洞,而军事部门则称为坑道或地道。

#### 1.1.2.4 根据规模和埋深分类

地下工程按规模大小可分为大断面(跨度大于等于 10 m)的地下商业街、地下仓库、地下停车场、地下水电房、地铁车站等;中等断面(跨度为 6~10 m)的城市地铁区间隧道、地下过街道,煤炭、冶金、采矿用地下巷道等;小断面(跨度小于 6 m)的各种城市地下电力、通信、热力管道等。同时,按开挖断面面积大小,地下工程可分为标准断面、大断面、超大断面等。表 1-1 是国际隧道协会制定的断面划分的建议标准。表 1-2 是日本制定的隧道断面划分和开挖断面面积标准。

地下工程根据开发深度可分为浅层(地表至 -10 m)、中层(-30~-10 m)和深层地下工程(-30 m 以下)三类。

表 1-1 国际隧道协会制定的断面划分标准

划分	净空断面面积/m <sup>2</sup>
超小断面	<3.0
小断面	3.0~10.0
中等断面	10.0~50.0
大断面	50.0~100.0
超大断面	>100.0

表 1-2 日本制定的隧道断面划分和开挖断面面积标准

划分	开挖断面面积/m <sup>2</sup>	说明
标准断面	70~80	双车道
大断面	100~120	有人行的双车道
超大断面	>120	与路面宽相同的三车道

尽管地下工程种类繁多,但从施工方法和技术角度看,最主要的是地下工程所处地质条件、空间位置和形态,因为它们直接决定着地下工程施工方案与方法、施工工艺与设备的选择。在岩石中开凿的工程,岩石硬度大,开挖比较困难,需用爆破法或岩石掘进机破岩,围岩相对稳定,支护比较容易;在土层中则相反,开挖容易支护难,可用人工或机械(盾构机、挖掘机)开挖,必要时需采用特殊的施工方法,如超前支护、降水、冻结、注浆等措施;在水中修建隧道则需用沉管法;在立井、斜井、平洞中施工,尽管支护方式类似,但选用设备则有很大差别。

### 1.1.3 地下工程的特性

地下工程必然承受着四周岩层或土层传来的压力,这种压力称为围岩压力。一方面,围岩压力决定地下工程的结构与地面建筑的结构不同,地下工程设施与地层接触处必须有支护结构(衬砌结构),其作用是承受地层和爆炸等静力荷载和动力荷载,确保地下工程的安全和使用要求。另一方面,岩层和土层具有较好的抗爆、抗震和良好的热稳定性和密闭性。因而,地下工程可作为有效的防空设施,形成恒温、恒湿、抗震、防振的环境,并能节约地面建筑占地面积。

由于受工程地质、水文地质条件的影响及作业环境与空间的限制,与地面建筑工程相比,地下工程复杂多变,工程难度大、成本高、工期长,在特殊的工程地质与水文地质条件下更是如此。

地下工程与地面工程相比,其主要特点表现在以下几个方面。

#### (1) 地下工程建设的无限性与制约性

地下空间资源的开发从理论上说几乎是无限的,因为地下空间是地球岩石圈空间的一部分,地球岩石圈的平均厚度有 33 km。国外有人估计,在 30 m 深度范围内,开发相当于城市总面积 1/3 的地下空间,就等于全部城市地面建筑的容积。这说明地下空间资源的潜力巨大。这对于未来城市的建设,无疑是极为珍贵的资源。因此,从一定意义上说,地下工程建设是无限的。同时,地下工程建设要受到许多条件的限制,如地质情况、已有地下设施、已有建筑物较深基础、土地的所有权与地价、施工技术、经济能力、开发后的综合效益及对城市的影响等。因此,城市地下工程建设又有一定的制约性,必须经过深入调查、科学论证与综合规划。

#### (2) 地下工程建设的层次性与不可逆性

如上所述,地下工程有浅层、中层和深层之分,即地下工程具有层次性特点。一方面,城市地下工程建设总是从浅层开始,然后根据需要逐步向深层发展。另一方面,地下工程建设一旦实施,往往是不可逆的,一旦形成将不可能回到原来的状态,很难改造或消除,要想再开发也非常困难,它的存在势必影响将来附近地区的使用。

地下工程建设的层次性与不可逆性特点,决定了对地下工程建设必须进行长期的分析预测,进行分阶段、分地区和分层次开发的全面规划,在此基础上,有步骤、高效益地开发与利用。

#### (3) 地下工程的致密性与稳定性

地下空间是岩石圈空间的一部分,具有致密性和构造单元的稳定性,因此地下工程受地震的破坏作用要比地面建筑轻得多。日本的研究总结指出,地下 30 m 处地震加速度约为地表处的 40%。

### 1.1.4 地下空间的开发与利用

人类对地下空间的利用经历了一个漫长的过程。推动这一过程的,一是人类自身的发展,二是社会生产力的发展和科学技术的进步。

早在公元前 3000 年的远古时期,人类就开始利用天然洞穴作为居住之所。人类进入了铜器和铁器时代,劳动工具的进步和生产关系的改变,使生产力有了很大发展。这时,地下空间的利用也摆脱了单纯的居住要求,而进入更广泛的领域,人类开始自主开发地下空间。随着采矿、运输、航运的兴起和农业灌溉以及战争的需要,各种人工开挖的坑道式地下工程出现了。

从 16 世纪开始的近代时期,由于炸药的发明和应用,以及凿岩机械的出现,地下空间的开发与利用进入了新的发展时期。如 1613 年建成伦敦水道,1681 年修建了地中海比斯开湾的连接隧道(长 170 m)。19 世纪以后建成的隧道就更多。1843 年,伦敦建造了越河隧道;1845 年,英国建成第一条铁路隧道;1871 年,穿过阿尔卑斯山,连接法国和意大利的长 12.8 km 的公路隧道开通。

现代地下空间的开发与利用,在 20 世纪 60 年代和 70 年代达到了空前的规模,在一些发达国家,地下空间的开发总量都在数千万立方米到数亿立方米,主要用于建造各种交通隧道、水工隧道、大型公用设施隧道和地下能源储库;城市地下空间的开发与利用也占有一定的比重。一些发达国家在 1960—1980 年的地下空间开发总量见表 1-3。

表 1-3

各国地下空间开发的规模

国名	地下空间开发总量/m <sup>3</sup>	
	1960—1970 年	1970—1980 年
日本	9.0×10 <sup>6</sup>	37.0×10 <sup>6</sup>
美国	4.0×10 <sup>6</sup>	22.5×10 <sup>6</sup>
意大利	4.0×10 <sup>6</sup>	11.2×10 <sup>6</sup>
法国	3.2×10 <sup>6</sup>	8.5×10 <sup>6</sup>
挪威	2.2×10 <sup>6</sup>	4.0×10 <sup>6</sup>
瑞典	1.5×10 <sup>6</sup>	5.0×10 <sup>6</sup>
原联邦德国	1.3×10 <sup>6</sup>	3.7×10 <sup>6</sup>
加拿大	1.3×10 <sup>6</sup>	1.5×10 <sup>6</sup>

20 世纪 80 年代,国际隧道协会提出“大力开发地下空间,开始人类新的穴居时代”的倡议,得到广泛的响应。日本也提出了利用地下空间、把国土扩大数倍的设想。各国政府都把地下空间的利用作为一项国策来推进。这使地下空间的利用得到了迅速发展。地下空间的利用,已扩展到各个领域,发挥着重要的社会效益和经济效益。

20 世纪 90 年代初,世界上已有近百个城市修建了地下铁道,线路总长达 3000 多千米,长 10 km 以上的就有 41 条。我国大瑶山铁道隧道,长 14295 m,自 1981 年 11 月开始施工,于 1987 年 5 月建成;英法海峡隧道总长 50 km,海底长度为 37 km,1987 年动工,1994 年 5 月投入运营。公路隧道建设方面主要有瑞士的圣哥达隧道,长 13.32 km;法国的弗雷瑞斯隧道,长 12.7 km 等。现代地下电站发展迅速,其中地下水力发电站,全世界已超过 400 座,其发电量达  $4.5 \times 10^6$  kW 以上。

21 世纪将是开发地下空间的世纪。城市地下空间是有效的防护空间和潜力巨大的城市后备空间资源,其开发与利用是城市经济发展和城市空间发展的客观需要,是实现城市建筑空间环境可持续发展的有效途径之一。开发与利用地下空间的作用体现在以下几个方面:① 它可以集约使用土地,缓解城市发展与土地稀缺的矛盾;② 它是改善城市生态环境、完善城市防灾体系、缓解城市发展中各种矛盾的有效措施,这些矛盾集中表现在交通堵塞、环境污染、生态化等方面。在注重人与自然协调发展的 21 世纪,城市发展对地下空间的开发与利用有着迫切的、巨大的需求。一些工业发达国家逐渐将地下商业街、地下停车场、地下铁道及地下管线等结为一体,形成多功能的地下综合体。这些地下设施与地面设施一起构成了城市的立体空间网络。

## 1.2 地下工程施工技术与新进展

### 1.2.1 矿山法与新奥法

#### 1.2.1.1 矿山法

矿山法(mining method)是采用传统的钻眼爆破法开挖地下工程的方法,故也称钻爆法。它是岩石地下工程开挖的最主要的方法,具有低投入、低消耗以及灵活方便、适应性强等优点。

矿山法的理论依据是普氏的平衡拱理论和太沙基的围岩极限平衡理论。国内外使用矿山法建成了大量的隧道和地下工程,其设计和施工经验丰富,是长期以来国内外众多隧道建设者的经验和智慧的总结。从地下工程的发展趋势来看,矿山法仍是今后山岭隧道与其他岩石地下工程最常用的施工方法之一。

### 1.2.1.2 新奥法

新奥法(New Austrian Tunneling Method, NATM)是由奥地利学者 L. V. Rabcewicz 于 20 世纪 50 年代在总结喷锚支护技术的基础上提出的隧道施工方法。它与法国所称的收敛约束法或有些国家所称的动态观测设计施工法的基本原则一致。它不仅仅是锚喷支护技术,更说明一种支护原理,强调隧道施工应遵循适当控制围岩变形的原则。现在,新奥法在矿山巷道、公路与铁路隧道、地下交通隧道等工程中得到了广泛的应用。

新奥法施工的基本思想是充分利用围岩的自身承载能力和开挖面的空间约束作用,把采用锚杆和喷射混凝土作为主要初期支护手段,及时对围岩进行加固,约束围岩的松弛和变形,然后在此基础上对围岩再施加衬砌作为安全储备,并通过对围岩和支护的量测、监控来指导隧道和地下工程的设计及施工。初期支护、内层衬砌与围岩三者共同构成永久的隧道承载体系。新奥法遵循“先柔后刚、量测监控、动态调整、合理二次衬砌”的原则,是地下工程设计、开挖、衬砌、监测相结合的新思想。新奥法的施工基本原则可概括为“少扰动、早喷锚、勤量测、紧封闭”。其施工的基本程序如图 1-1 所示。

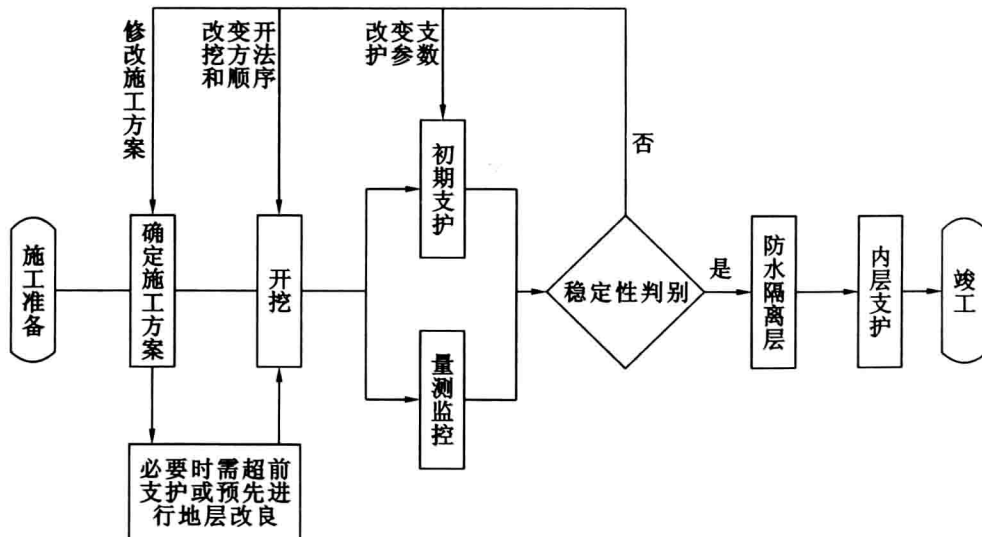


图 1-1 新奥法施工的基本程序

新奥法的基本思想和方法不仅适用于隧道工程,还适用于矿山等各类地下工程。

## 1.2.2 地下工程施工技术

地下工程施工技术是以在地层中构筑建筑物为目的,研究解决地下工程建造的技术方案和措施,包括在不同地质条件下的施工方法、手段、工艺和工程实施中的技术、计划、质量、经济和安全的管理措施。所包含的内容主要有地下工程的基本作业、辅助作业和施工管理等(图 1-2)。

不同用途的地下工程又各有特点。如地下街或地下停车场以及公路或铁路隧道,其施工环境、作业方式差别较大。地下工程的服务年限不同,对其稳定性的要求也不同。要做好地下工程的设计与施工,对其用途和特点必须有足够的认识。



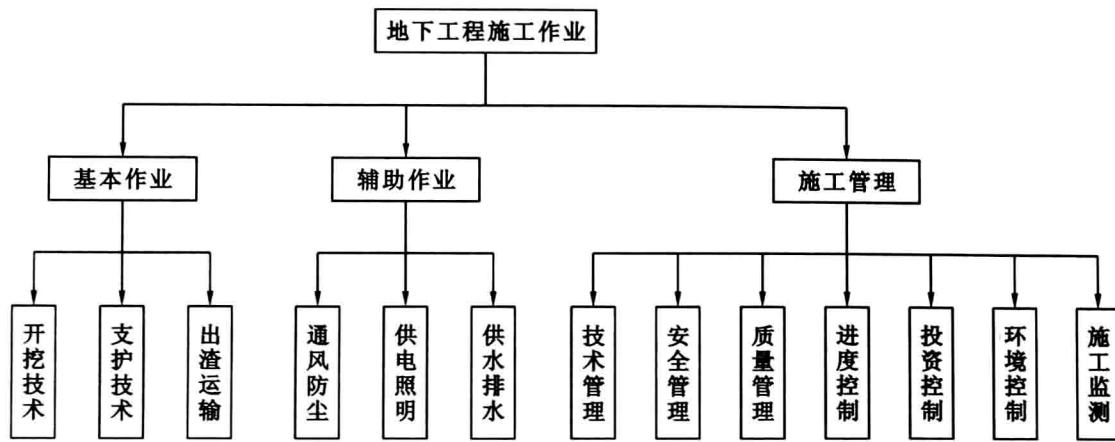


图 1-2 地下工程施工作业

### 1.2.2.1 基本作业

地下工程的基本作业包括开挖、支护和出渣运输三个方面。

#### (1) 开挖

在开挖技术中非常重要的一项是开挖方法的选择。选择的主要考虑因素一般有工程地质和水文地质条件、地形和地貌、埋置深度、结构形状和规模、使用功能和环境条件、施工队伍的技术水平和施工机具、交通条件和工期要求、经济和技术等,通过综合研究来确定。地下工程应选择安全、适用,技术上可行、经济上合理的施工方法。

地下工程开挖方法可简单划分为明挖法、盖挖法和暗挖法三大类。对于在不同类型的岩土中开挖的地下工程,其开挖方法分类如图 1-3 所示。

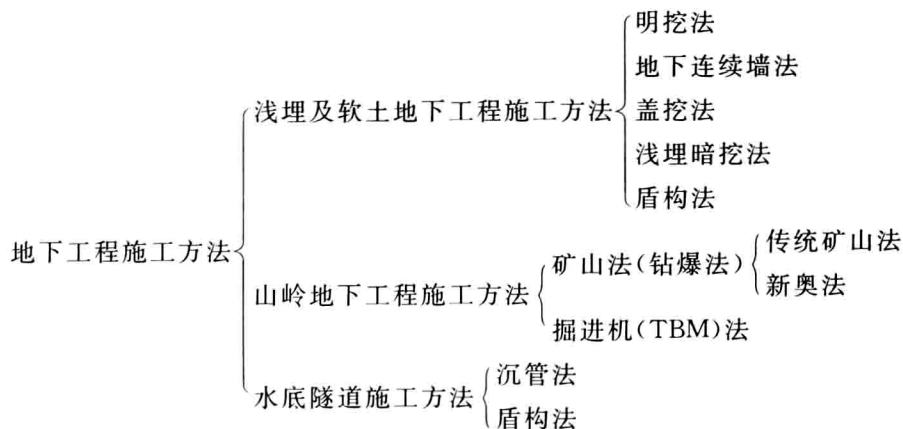


图 1-3 地下工程开挖方法分类

所谓明挖法,是指地下结构施工时,从地表向下分层、分段依次开挖,直至达到结构要求的尺寸和高程,然后在基坑中进行主体结构施工和辅助作业,最后恢复地面。一般基坑工程开挖方法属于明挖法,水下隧道沉管法也可简单地归为明挖法。

盖挖法又称盖挖逆筑法,即先修筑地下结构的维护墙和支撑柱及结构顶板,再利用出入口、通风道或单独设置竖井,采用自上而下的逆筑法施工单层或多层地下空间结构。这种施工方法介于明挖、暗挖施工方法之间,除结构顶板明挖施工外,其他都为暗挖施工,在基坑工程、隧道工程、地铁工程,尤其在结构复杂的地铁车站施工中更有意义。

暗挖法包括传统矿山法、新奥法、掘进机(TBM)法、盾构法和顶管法等。



## (2) 支护

地下工程支护(衬砌)是为了确保开挖过程和周围环境的安全,所采用的必要的支挡、支撑、衬砌技术的总称。支护按施加的不同阶段可分为预支护、初期支护和永久支护,每一部分的特点和作用不同。当围岩的自稳能力不足以保证开挖和后续作业时,需对围岩采取预支护措施,如超前锚杆支护、超前管棚支护、超前预注浆等。初期支护的作用是控制围岩的变形,增强围岩的稳定性,防止塌方,以保证施工作业的安全。根据围岩稳定性,初期支护可由喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢拱架等按不同的组合形式进行。在初期支护的基础上,为保证地下工程围岩的稳定及长期正常使用,必须对开挖后的隧道或硐室进行永久支护,如锚喷支护、锚索支护及模筑混凝土衬砌、装配式钢筋混凝土衬砌等。

## (3) 出渣运输

出渣运输是地下工程作业的基本工序之一,是一项耗费时间长、劳动强度大的工作,占单循环作业时间的 35%~50%。因此,出渣运输作业能力的大小对掘进速度有很大的影响。

### 1.2.2.2 辅助作业

地下工程辅助作业是配合基本作业所必需的环节,包括风、水、电的设计安装和供给,除尘和排水,施工场地的规划和布置,设备配置等。统筹安排这些辅助作业,可以改善施工人员的作业环境,为加快地下工程施工创造良好的条件。

### 1.2.2.3 工程监测和施工管理

地下工程施工是在地层内部进行的,不可避免地引起土(岩)层的移动。因此,一方面需要对施工过程进行监测;另一方面需要对因施工引起周围环境的变化进行监测。一旦发现异常情况,应及时采取加固措施或改善施工方案。

施工管理是通过有效的管理措施来保证工程质量和工期的,对施工工程中的各个环节进行科学的计划、组织和安排,保证施工安全,达到经济、高效和安全施工的目的。

同其他建筑工程一样,地下工程施工必须按照批准的相关设计文件、相应的规范或规程进行。如需变更,应按设计单位先行的设计变更处理办法执行。开工前,应深入工地做好调查研究,核对设计文件,编制实施性施工组织设计,在时间顺序和工程项目上进行合理安排,对施工现场在平面和空间上进行合理布置,完成实测和定位工作。正确记录施工过程中出现的各种问题以及所揭示的地质现象,完善施工问题的组织上报制度。工程完工时,编写工程施工技术报告,提供竣工文件,并按有关规定进行验收。

地下工程施工的特点是在地下作业,作业空间有限,作业条件恶劣,作业场所不断延伸,工作对象是被称为地质体的土体或岩体,不稳定因素很多。由于地质勘察的局限性、工程地质条件的复杂性和多变性,地下工程施工过程中经常会遇到突然变化的地质条件。一些对工程不利的地质现象通过施工才会暴露出来,一些意外情况,如涌水和塌方可能会突然出现,而且施工过程是一个技术难度不断增加、作业条件逐渐恶化的复杂过程,因此,原先制订的施工方案、施工技术措施和施工计划要随之调整。

## 1.2.3 地下工程施工技术新进展

进入 21 世纪,随着科学技术的进步,特别是先进的施工机械的出现,地下工程的施工水平越来越高。地下工程施工技术的新进展主要体现在以下 5 个方面: